

## Proteksi Katodik pada Elektrode Zn Metode *Sacrificial Anode* untuk Peningkatan Kinerja Sistem Akumulator Air Laut

S W Suciyati\*, G A Pauzi, Junaidi dan L Kamalia

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung  
Jl. Prof. Dr. Soemantri Brojonegoro No.1 Gedung Meneng Bandar Lampung 35145  
\*E-mail: sri.wahyu@fmipa.unila.ac.id

Diterima (1 Agustus 2020), Direvisi (14 Mei 2020)

**Abstract.** Corrosion to the Zn electrode in the seawater accumulator system can be controlled by the cathodic protection of the sacrificial anode system. The mechanism is via anode sacrifice such as Al which has a negative potential connected to the Zn structure to provide extra electrons. The Zn electrode design is protected by an Al offering anode to form Cu-ZnAl electrode pairs arranged in series to form a seawater accumulator. Testing of electrodes with sacrificial anode system cathodic protection (Cu-ZnAl) compared to electrodes without protection (Cu-Zn) for 48 hours showed no-load voltages of 10.19 V (Cu-Zn) and 12.89 V while the power generated was 48.36 mW and 49.37 mW. The average power after 3 watt LED loading was obtained 12.03 mW (day 1) and 12.56 mW (day 2) for the Cu-ZnAl electrode, while the Cu-Zn electrode obtained an average power of 6,68 mW (day 1) and 10.09 mW (day 2). The corrosion rates after two days of using the Cu-Zn and Cu-ZnAl electrode pairs were obtained 0.008136 mm / year (Zn) and 0.0749626 mm / year (ZnAl).

**Keywords:** Corrosion, Electrodes, LED.

**Abstrak.** Korosi pada elektroda Zn dalam sistem akumulator air laut dapat dikendalikan oleh proteksi katodik sistem anoda korban. Mekanismenya melalui pengorbanan anoda seperti Al yang memiliki potensial negatif terhubung ke struktur Zn untuk menyediakan elektron ekstra. Desain elektroda Zn diproteksi dengan anoda korban Al sehingga membentuk pasangan elektroda Cu-ZnAl yang disusun seri untuk membentuk akumulator air laut. Pengujian elektroda dengan proteksi katodik sistem anoda korban (Cu-ZnAl) dibandingkan dengan elektroda tanpa proteksi (Cu-Zn) selama 48 jam menunjukkan tegangan tanpa beban sebesar 10,19 V (Cu-Zn) dan 12,89 V sedangkan daya yang dihasilkan sebesar 48,36 mW dan 49,37 mW. Daya rata-rata setelah pembebanan LED 3 watt diperoleh 12,03 mW (hari ke-1) dan 12,56 mW (hari ke-2) untuk elektroda Cu-ZnAl, sedangkan untuk elektroda Cu-Zn diperoleh daya rata-rata 6,68 mW (hari ke-1) dan 10,09 mW (hari ke-2). Laju korosi setelah dua hari pemakaian masing-masing pasangan elektrode Cu-Zn dan Cu-ZnAl diperoleh 0,008136 mm/tahun (Zn) dan 0,0749626 mm/tahun (ZnAl).

**Kata kunci:** Elektroda, Korosi, LED.

---

## PENDAHULUAN

Akumulator adalah alat penyimpan energi listrik dalam bentuk energi kimia. Akumulator tersusun oleh beberapa pasangan elektroda dan elektrolit. Elektrolit merupakan larutan yang bersifat konduktor ionik, sehingga untuk rekayasa akumulator dapat digunakan larutan apapun yang bersifat konduktif. Pengujian air sebagai bahan elektrolit akumulator telah dilakukan, mulai dari air laut [1] hingga air sungai dan air payau [2]. Dari penelitian ini, akumulator dengan elektrolit air laut memberikan hasil terbaik, namun pada elektrodanya cepat mengalami korosi.

Potensi laut Indonesia yang kaya, salah satunya dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik alternatif. Pembangkitan energi air laut dapat melalui konversi gelombang permukaan dan desain sel elektrokimia. Sel elektrokimia dibuat menggunakan elektrolit air laut dan pasangan elektroda yang dirangkai secara seri membentuk sistem akumulator. Kelistrikan sel elektrokimia dari variasi pasangan elektroda C-Zn, Cu-Al, dan Cu-Zn [1] menunjukkan bahwa tegangan elektrik pasangan elektroda Cu-Zn lebih baik.

Energi listrik dalam sel elektrokimia terjadi melalui proses reduksi-oksidasi, dimana elektroda negatif (anoda) mengalami reaksi oksidasi yang menyebabkan elektron di permukaan anoda terlepas dan dibawa oleh ion elektrolit menuju elektroda positif (katoda) [3]. Proses reduksi-oksidasi kontinyu mengakibatkan korosi pada elektroda. Air laut sebagai elektrolit yang menjembatani transfer elektron antara anoda dan katoda juga berperan aktif dalam korosi dengan adanya kandungan natrium klorida (NaCl) sebesar 3,5%. Komposisi air laut pada salinitas 35 ‰ mengandung ion Cl<sup>-</sup> sebesar 19,354 g/kg air laut dan ion Na<sup>+</sup> sebesar 10,77 g/kg air laut pada temperatur 25 °C [4]. Menurut [5], larutan NaCl 3,5 ‰

menyebabkan elektroda seng lebih cepat terkorosi daripada aluminium dan cadmium.

Proteksi katodik [6] dapat menghambat laju korosi selain modifikasi elektrolit dengan penambahan *Sodium Bikarbonat* (NaHCO<sub>3</sub>) [7] dan filtering air laut. Penambahan NaHCO<sub>3</sub> 12,5 % dalam air laut [8] dan filtering yang dilakukan mampu meningkatkan elektrifitas akumulator dan menurunkan laju korosi pada seng, namun terbentuk lapisan karbonat pada permukaan elektroda seng. Proteksi katodik pada bahan anoda (metode anode korban) umumnya bertujuan agar korosi tidak terjadi pada elektrode yang diproteksi [9], namun tetap efektif dalam menghasilkan energi listrik. Proteksi katodik dengan anoda korban adalah metode pencegahan korosi dengan meminimalkan perbedaan potensial di antara anoda dan katoda [10]. Hal ini berarti, terjadi perubahan semua bagian anodik (aktif) pada permukaan logam menjadi bagian katodik (pasif) dengan memasok arus listrik (elektron bebas) dari sumber alternatif. Penelitian [6] menunjukkan bahwa logam dengan potensial elektrode lebih negatif mampu menghambat laju korosi pada elektrode seng (Zn) tanpa mempengaruhi daya listrik yang dihasilkan. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh proteksi katodik pada elektrode Zn menggunakan metode anode korban terhadap kinerja akumulator air laut.

## METODE PENELITIAN

Untuk kebutuhan desain akumulator, diperlukan elektrolit air laut, pasangan elektroda, dan kontak penghubung antara anode dan katoda. Akumulator tersusun dari 20 sel elektrokimia yang dihubungkan seri melalui pasangan elektroda Cu-Zn (**Gambar 1**). Sebelum digunakan, elektroda dibersihkan dengan alkohol 70% dan dibilas dengan aquades, sedangkan air laut disaring untuk menghilangkan kotoran atau bahan yang

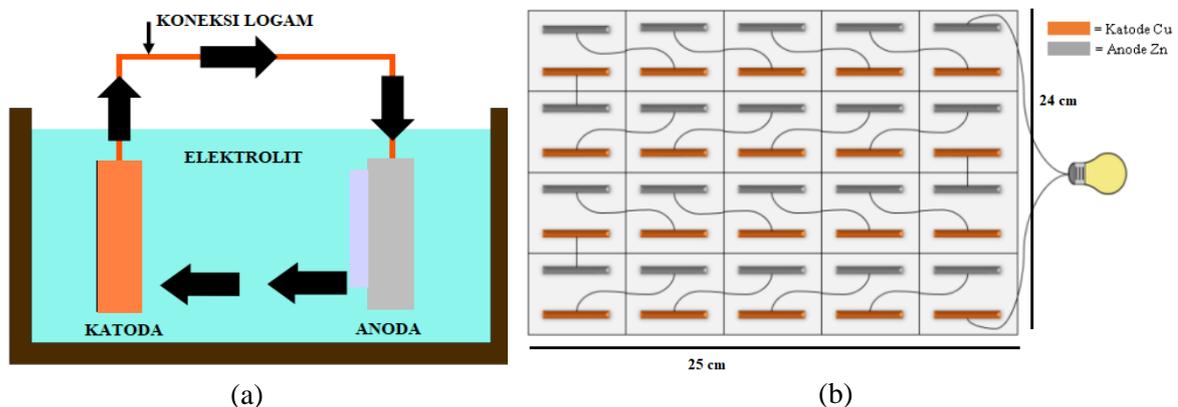
tidak diinginkan. Elektroda yang dipakai adalah plat tembaga dan seng dengan ukuran masing-masing lebar 4 cm dan panjang 7 cm, sedangkan anoda korban menggunakan plat aluminium berukuran 1 x 5 cm ditempelkan pada plat seng. Volume elektrolit untuk setiap sel adalah 200 ml.

Pengukuran kinerja elektrik akumulator, dilakukan terhadap sistem sebelum dan setelah elektroda seng diberi anoda korban aluminium. Dari gambar 1, bagian keluaran akhir elektroda Cu dan Zn dibebani LED 3 watt untuk mengetahui tegangan (V), arus (I) dan daya (P). Untuk mengetahui dampak pemberian anoda korban Al pada elektroda Zn (laju korosi), dilakukan pengukuran terhadap massa Zn sebelum dan setelah pemberian anoda korban Al. Pengujian sistem ini berlangsung selama 2x24 jam dengan pengambilan data elektrik setiap 2 jam, sedangkan laju korosi dihitung menggunakan rumus pengurangan massa Zn. Massa awal elektrode diukur setelah dibersihkan dengan alkohol 70% dan dibilas dengan aquades, selanjutnya pengukuran massa setelah pemakaian hari ke-1 dan hari ke-2. Alat ukur massa elektrode menggunakan timbangan digital tipe TL-series dengan ketelitian sebesar 0,001 gram.

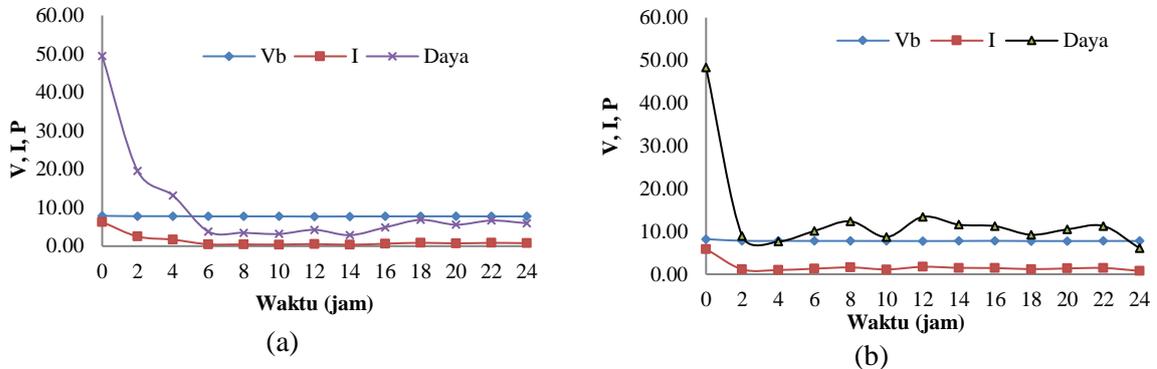
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Logam dalam elektrolit (air laut) akan bereaksi menimbulkan korosi, yang melemahkan struktur dan disintegrasi logam. Proteksi logam terhadap korosi dapat dilakukan dengan cara proteksi katodik, salah satunya dengan metode anoda korban. Mekanismenya adalah anoda korban seperti magnesium, seng atau aluminium yang memiliki potensial negatif terhubung ke bagian logam yang diproteksi untuk menyediakan elektron ekstra. Berdasarkan tabel potensial reduksi standar, Zn memiliki  $E^0 = -0,76$  volt dan Al memiliki  $E^0 = -1,66$  volt. Perbedaan dalam potensial reduksi ini menunjukkan Al akan teroksidasi jauh lebih cepat daripada Zn sehingga Al dapat memproteksi Zn dengan menjadikan Al sebagai anoda korban.

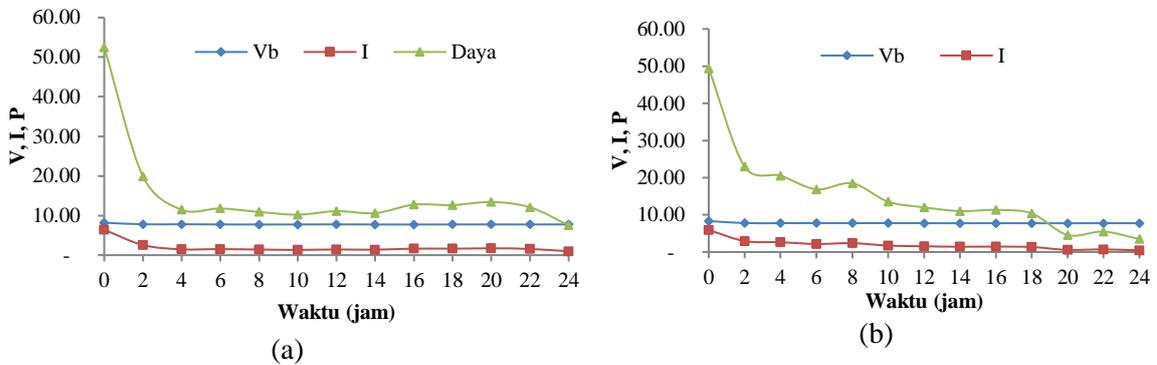
Air laut biasanya lebih korosif daripada air tawar karena tingginya konduktivitas dan daya tembus ion klorida terhadap lapisan permukaan logam. Nilai-nilai elektrik akumulator sebelum elektroda Zn diproteksi dengan anoda korban Al menunjukkan nilai yang cukup baik, namun timbul korosi pada Zn. **Gambar 2** dan **Gambar 3**, menunjukkan karakteristik tegangan (V) dan arus (I) terhadap waktu pemakaian akumulator selama 2 x 24 jam.



**Gambar 1.** Akumulator air laut: (a) proses elektrokimia dalam 1 sel dan (b) Sel elektrokimia terhubung seri melalui kabel.



**Gambar 2.** Grafik karakteristik elektrik akumulator dengan elektroda Cu-Zn, (a) hari ke-1 dan (b) hari ke-2.



**Gambar 3.** Grafik karakteristik elektrik akumulator dengan proteksi katodik anoda korban Cu-ZnAl, (a) hari ke-1 (b) hari ke-2.

Pada pemakaian hari ke-1 dengan pembebanan LED 3 watt, tegangan (V) akumulator yang dihasilkan menunjukkan nilai rata-rata sebesar 7,75 volt, sedangkan nilai maksimum dan minimum arus (I) sebesar 6,28 mA dan 0,77 mA. Penurunan nilai ini berakibat pada penurunan daya (P) dari nilai maksimum sebesar 49,49 mW ke 5,99 mW (gambar 2a). Pada hari ke-2 nilai tegangan rata-rata sebesar 7,78 volt, namun arus maksimum sebesar 5,89 mA dan minimum sebesar 0,78. Daya yang dihasilkan maksimum 48,36 mW dan minimum 6,06 mW (**Gambar 2b**). Secara umum pada sistem ini aliran arus (elektron) mengalami hambatan akibat proses elektrokimia dalam sel akumulator. Dalam sel elektrokimia, terjadi reaksi spontan dengan energi potensial standar sebesar 1,1

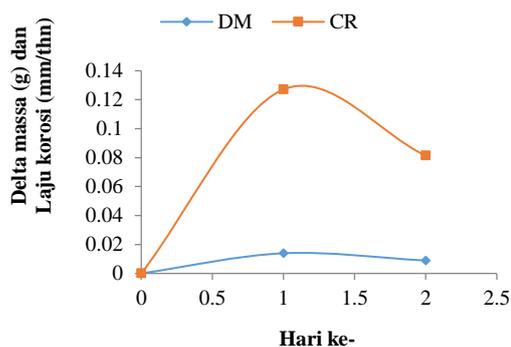
volt yang memaksa struktur permukaan Zn (solid) terurai menjadi ion  $Zn^{2+}$  dan bereaksi dengan elektrolit air laut. Reaksi yang terus menerus menyebabkan kejenuhan aliran elektron dalam sel akumulator, sehingga arus semakin menurun dan berakibat pada daya yang makin menurun nilainya. Proses ini berlaku juga pada sel akumulator yang diproteksi katodik Al pada Zn, yaitu pemberian logam di bagian anode dengan potensial standar reduksi yang lebih negatif. Penelitian ini menggunakan anoda korban Al 5 cm<sup>2</sup> yang ditempelkan pada Zn. Kinerja akumulator hari ke-1 (**Gambar 3a**) menunjukkan hasil tegangan (V) maksimum sebesar 8,20 volt dan tegangan minimum 7,76 volt; arus (I) maksimum 6,40 mA dan minimum 0,97 mA; daya (P) maksimum 52,48 mW dan minimum 7,53 mW. Hari ke-

2 (**Gambar 3b**), tegangan (V) maksimum sebesar 8,34 volt dan minimum 7,76 volt; arus (I) maksimum 5,92 mA dan minimum 0,45 mA; sedangkan daya maksimum 49,37 mW dan minimum 3,49 mW.

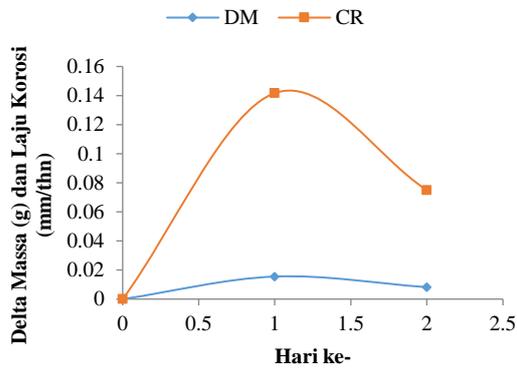
Dari **Gambar 2** dan **Gambar 3**, terlihat bahwa pemberian anoda korban pada plat Zn telah meningkatkan daya keluaran akumulator terutama pada hari ke-1 penggunaan ZnAl dibandingkan dengan penggunaan Zn. Peningkatan ini terkait dengan pengendalian korosi pada Zn. Laju korosi umumnya dikendalikan oleh kandungan klorida, ketersediaan oksigen, dan suhu dalam sel elektrolit. Kandungan garam air laut sebesar 3,5 % menghasilkan larutan garam klorida yang paling korosif dengan kombinasi konduktivitas dan kelarutan oksigen nilainya maksimum pada nilai ini. Meskipun penghantaran ion dalam elektrolit maksimum pada nilai salinitas ini, namun laju korosi bergantung pula pada logam/plat yang dipakai sebagai anoda karena berbanding lurus terhadap jumlah arus yang disediakan. Terurainya permukaan Zn (solid) menunjukkan adanya reduksi massa logam yang berupa korosi. Korosi ini menunjukkan adanya konversi energi yang melibatkan transfer muatan elektron pada antarmuka konduktor elektronik (elektroda) dan konduktor ionik (elektrolit).

Berikut nilai laju korosi elektroda Zn (anoda) yang dipakai untuk memberikan kinerja elektrik seperti **Gambar 2**. Nilai ini merupakan nilai rata-rata massa Zn dari 20 sel elektrokimia yang diambil selama 2 hari pemakaian elektroda. Rerata massa awal Zn adalah 8,8788 gram, setelah 24 jam berikutnya Zn diukur dan massanya berkurang menjadi 3,8639, pengukuran 24 jam berikutnya (jam ke-48) massanya berkurang lagi menjadi 3,8550. Pengurangan massa (DM) Zn selama 2 hari pemakaian adalah 0,0139 gram dan 0,0089 gram, sehingga laju korosi (CR) (**gambar 4**) yang terjadi pada Zn sebesar 0,12707

mm/tahun (hari ke-1) dan 0,008136 mm/tahun (hari ke-2). Laju korosi hari ke-1 (**Gambar 4**) adalah maksimum, menunjukkan transfer muatan elektron lebih banyak terjadi pada antarmuka plat Zn daripada konduktor elektrolit dan menunjukkan perubahan warna pada permukaan Zn (terjadi degradasi permukaan plat). Pada hari ke-2, grafik laju korosi Zn terlihat menurun yang berarti bahwa proses transfer elektron lebih banyak dilakukan oleh antarmuka konduktor elektrolit daripada plat Zn. Proses degradasi plat Zn, merupakan polarisasi konsentrasi yaitu proses pengikatan elektron plat Zn pada reaksi reduksi hidrogen lingkungan untuk membentuk gas-gas hidrogen. Terkait masalah korosi Zn, polarisasi ini mengacu pada pergeseran nilai potensial elektroda ke arah “positif” yang menunjukkan adanya transisi aktif ke pasif (polarisasi anodik). Polarisasi anodik dalam lingkungan basah selalu meningkatkan laju korosi, terutama pada awal pemakaian plat Zn (hari ke-1) dan selanjutnya menurun drastis di hari ke-2 (**Gambar 4**). Grafik laju korosi (**Gambar 4**) sangat bersesuaian dengan teori [11; 4].



**Gambar 4.** Grafik laju korosi plat Zn selama dua hari pemakaian.



**Gambar 5.** Grafik laju korosi plat ZnAl selama dua hari pemakaian.

Laju korosi yang terjadi pada anoda (Zn) dapat dikendalikan dengan proteksi katodik metode anoda korban. Pengendalian korosi dilakukan dengan merelokasi reaksi oksidasi melalui pengalihan anoda (struktur yang dilindungi) menjadi katoda dalam sel korosi yang lebih besar. Bagian anode diberi logam dengan potensial standar reduksi yang lebih negatif. **Gambar 5** menunjukkan grafik laju korosi pada plat ZnAl yang terjadi selama pemakaian (2 hari). Massa ZnAl sebelum dipakai adalah 3,84465 gram, setelah pemakaian 24 jam (hari ke-1) massanya menjadi 3,82915 gram dan pemakaian selama 48 jam berikutnya (hari ke-2) massanya menjadi 3,82095 gram. Penurunan massa ZnAl selama pemakaian 48 jam adalah 0,0155 gram (hari ke-1) dan 0,0082 (hari ke-2), sedangkan laju korosi yang terjadi selama pemakaian dalam elektrolit air laut adalah 0,14169 mm/tahun (hari ke-1) dan 0,07496 mm/tahun (hari ke-2).

Secara teori [4] semua plat logam pada lingkungan basah yang dipolarisasi katodik, laju korosinya akan berkurang. Proteksi katodik merupakan penerapan polarisasi katodik pada sistem korosi (elektrokimia), dalam hal ini plat Zn diproteksi oleh Al dalam sel akumulator air laut. Proteksi katodik pada plat Zn menggunakan Al telah meningkatkan kinerja elektrik (daya)

akumulator (**Gambar 3a**) pada hari ke-1, namun korosi tetap terjadi selama penggunaan sel elektrokimia dalam sistem. Korosi masih terjadi pada plat ZnAl namun terfokus pada permukaan Al sehingga proses transfer elektron pada antarmuka konduktor Zn tidak dipengaruhi oleh korosi yang terjadi (hari ke-1). Hal ini bersesuaian dengan mekanisme alami anoda korban Al untuk menyediakan elektron ekstra ke bagian plat Zn yang diproteksi. Korosi yang terjadi diakibatkan polarisasi konsentrasi dalam sel elektrokimia, dimana terjadi perubahan konsentrasi muatan plat oleh keberadaan Al. Selain itu partisipasi air laut dalam proses korosi terjadi melalui transport massa (ion-ion) oksigen ke permukaan plat akibat proses katodik yang bergantung pada oksigen terlarut [12]. Transfer massa ion-ion elektrolit ke antarmuka plat ZnAl sepenuhnya dikendalikan oleh proses difusi dalam elektrolit. Akibatnya timbul masalah dalam penghantaran muatan elektron untuk konduktor elektronik karena terjadi perusakan struktur permukaan plat anoda dan penumpukan ion-ion karbonat di permukaan plat katoda. Keberadaan ion-ion karbonat ini akibat penguraian karbondioksida terlarut dalam konduktor ionik (elektrolit).

Secara umum, analisis pada proteksi katodik sel akumulator telah menunjukkan karakteristik elektrik daya (P) yang dihasilkan meningkat sebesar 44,47 % di hari ke-1 dan 19,67 % di hari ke-2 (**Gambar 2** dan **Gambar 3**). Persentase laju korosi sebelum dan setelah diberi anoda korban hari ke-1 adalah 10,32 %, sedangkan hari ke-2 sebesar 7,87 %. Ini berarti terjadi penekanan laju korosi pada elektroda yang dipakai.

## KESIMPULAN

Penelitian ini menggunakan pasangan elektroda Cu-Zn dan Cu-ZnAl untuk

mengetahui kinerja akumulator yang dibuat. Dari hasil analisis data, diperoleh kesimpulan penggunaan anoda korban Al untuk memproteksi Zn (proteksi katodik metode anoda korban) berhasil meningkatkan daya akumulator sebesar 44,47 % (awal). Adanya proses korosi alami dalam sel elektrokimia telah menurunkan daya akumulator sebesar 19,67 %. Ini berarti material anoda korban yang dipilih fungsinya belum maksimal dan memungkinkan untuk penggunaan material lain yang memiliki potensial elektroda lebih negatif dari Al dan harganya cukup terjangkau.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada Fakultas MIPA Universitas Lampung sebagai institusi penulis, dan tim peneliti yang membantu dalam diskusi hasil penelitian.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pauzi G.A., Hudaya E., Supriyanto A, dan Warsito. 2016. Analisis Uji Karakteristik Elektrik Air Laut sebagai Sumber Energi Listrik Terbarukan. *Prosiding SN SMIAP 2016*. V. Bush, "As We May Think", *The Atlantic*, vol. 176, no.1, pp. 101-108, July 1945.
- [2] Suciyati S W, Warsito, Supriyanto A, Surtono A, Giri A M, Gurum A P 2018 Karakterisasi Kelistrikan Air Payau Dan Air Sungai Sebagai Bahan Elektrolit *Spektra: Jurnal Fisika dan Aplikasinya* **3** 1 47-55. p-ISSN: 2541-3384. e-ISSN: 2541-3392 <http://doi.org/10.21009/SPEKTRA>.
- [3] Güell R, Aragay G, Fontàs C, Anticó E, and Merkoçi A 2008 Sensitive and Stable Monitoring of Lead and Cadmium in Seawater Using Screen-Printed Electrode and Electrochemical Stripping Analysis *Nanobioelektronics & Biosensors Group* 219-224.
- [4] Roberge Pierre R 2008 *Corrosion Engineering: Principles and Practice*. McGraw-Hill Companies USA.
- [5] Ali J M, Abbas Q 2009 Corrosion and Galvanic behavior of Copper, Carbon steel and Zinc Couples in (3.5 %wt) NaCl Solution *Al-Khwarizmi Engineering Journal* **5** 3 60-71.
- [6] Kamalia L, Gurum A P, Suciyati S W 2018 Analisis Laju Korosi Elektrode Bahan Cu - Zn dengan Metode Sacrificial Anode Pada Sistem Energi Listrik Alternatif Berbasis Air Laut *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika* **06** 02.
- [7] Arwaditha R.K., Gurum A.P., dan Supriyanto A 2017 Desain dan Realisasi Akumulator Elektrolit Air Laut Dengan Penambahan Sodium Bicarbonate (NaHCO<sub>3</sub>) Sebagai Sumber Energi Alternatif *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika* **5** 2 153-142 <http://dx.doi.org/10.23960%2Fjtaf.v5i2.1809>
- [8] Gurum A P, Arwaditha R K, Supriyanto A, Suciyati S W, Surtono A, Junaidi, Warsito 2018 Desain dan Realisasi Akumulator Elektrolit Air Laut dengan Penambahan Sodium Bicarbonate (NaHCO) sebagai Sumber Energi Alternatif *Jurnal Fisika* **8** 2 78-85 <https://journal.unnes.ac.id/nju/index.php/jf/index>
- [9] Muazu A and Yaro S A 2011 Effects of Zinc Addition on the Performance of Aluminium as Sacrificial Anode in Seawater *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering* **10** 2 185-198 [jmmce.org](http://jmmce.org). Printed in the USA. All rights reserved.
- [10] Mouanga M, Puiggali M, Tribollet B, Vivier V, Pébère N, and Devos O 2013 Galvanic corrosion between zinc and

- carbon steel investigated by local electrochemical impedance spectroscopy *Electrochimica Acta* **88** 6-14 ISSN 0013-4686.
- [11] Sato N 1998 *Electrochemistry at Metal and Semiconductor Electrodes* Elsevier Science B.V. , Amsterdam The Netherlands.
- [12] Li Z., Lu X., Zuo Yu 2014 The Influence of Cathodic Polarization on Performance of Two Epoxy Coatings on Steel *Int. J. Electrochem. Sci.* **9** 6266 – 6280.